

CONTART 2016. La Convención de la Edificación  
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y  
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica  
de España, p.457-466

EL POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS  
COMO FACTOR DETERMINANTE EN EL ANÁLISIS DEL CICLO  
DE VIDA DE LOS EDIFICIOS

PARÍS, ORIOL<sup>1</sup>; CABALLERO, ANTONI<sup>2</sup>

*1: Departamento de Construcciones Arquitectónicas II  
Universidad Politécnica de Catalunya*

*e-mail: oriol.paris-viviana@upc.edu, web: <http://cradletofuture.blogspot.com.es>*

*2: Departamento de Construcciones Arquitectónicas II  
Universidad Politécnica de Catalunya*

*e-mail: antoni.caballero@upc.edu, web: <https://www.epseb.upc.edu>*

**Palabras clave:** reutilización; ACV; utilidad; desmontabilidad; coeficiente retorno  
acopio; sistema constructivo.

RESUMEN

Considerar el edificio como un objeto final es un error de principio si perseguimos la sostenibilidad como factor de diseño de nuestra arquitectura. Actualmente deberíamos entender el edificio como un ‘banco de materiales’ para las siguientes generaciones y asumir las consecuencias en el diseño de los sistemas constructivos. De las tres fases generales del Ciclo de Vida de un edificio –Construcción, Uso y Mantenimiento y, Desconstrucción-, la fase en la que se han concentrado los mayores esfuerzos y en la que se han obtenido importantes resultados es la fase de Uso y Mantenimiento. Ello está llevando a concentrar la mayor parte, de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de las inversiones energéticas, en las fases de Construcción y Desconstrucción.

El creciente protagonismo de las fases de Construcción y Desconstrucción en el Análisis de Ciclo de Vida de un edificio ha llevado a plantear estrategias, desde la propia fase de proyecto, de mayores eficacias en el diseño de elementos constructivos; mejores estrategias, encaminadas a la reducción de la cantidad de material, en los sistemas constructivos; y selección de materiales en función de ciclos cerrados de los mismos.

Esta investigación plantea la valoración de la posible reutilización de los materiales y elementos en función del -Coeficiente de retorno al acopio- que mide la capacidad de desmontaje de los sistemas constructivos y su posible reutilización con el consecuente ahorro en emisiones y recuperación de la energía embebida. Esta cuantificación de la reutilización considerada en el proceso del Análisis de Ciclo de Vida de un edificio permite una mayor concreción en la valoración del impacto medioambiental y en este caso repercutido por m<sup>3</sup> de habitabilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación es responsable directo de una parte importante de las causas que producen los gases de efecto invernadero “El cambio climático que se está produciendo en el planeta llevara a modificar radicalmente las formas de vivir y de construir, porque el impacto debido a la actividad del sector de la edificación en el medio ambiente es considerable. La construcción, es su conjunto, considerando el transporte asociado, consume más de la mitad de los recursos materiales y el 40% de la energía; y genera cerca de la mitad de los residuos y un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub>” [1]. A escala mundial le corresponde: el 60% de la extracción de los materiales de la litosfera, entre la construcción y el uso generan el 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la energía primaria consumida por los edificios es del 40% total del planeta. Además, durante la fase de uso se consume el 20% de agua dulce y el 60% de los residuos sólidos en los edificios se produce en fase de construcción y desconstrucción.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) permite cuantificar el impacto medioambiental de un material o elemento, identificando todas las etapas del ciclo de vida de los productos, desde la extracción y pre-tratamiento de las materias primas, la producción, la distribución y el uso del producto final hasta su posible reutilización, reciclaje o residuo. El estudio del ACV del edificio ha permitido:

- Analizar el impacto energético, ecológico y medioambiental desde el punto de vista del beneficio social y económico.
- Configurar-se como un instrumento de interconexión entre el proyecto y la elección de materiales, la construcción, el uso y mantenimiento y la desconstrucción.
- La introducción del concepto de durabilidad, desde una perspectiva global, teniendo en cuenta los distintos impactos y ciclos de reciclaje.

A partir del análisis del ACV se analizan los impactos ambientales de cada fase del ciclo de vida del edificio, calculando indicadores como la cantidad de energía consumida, los Kg de emisión de CO<sub>2</sub>, el volumen de agua consumido, la toxicidad al medioambiente, etc.

Este análisis ha determinado que, considerando una vida útil de 50 años, en la fase correspondiente al uso del edificio ésta es responsable del 64% del coste energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera (véase Figura 1, sobre el impacto de emisiones de CO<sub>2</sub> en el ciclo de vida de un edificio residencial, Alberto Cuchí).

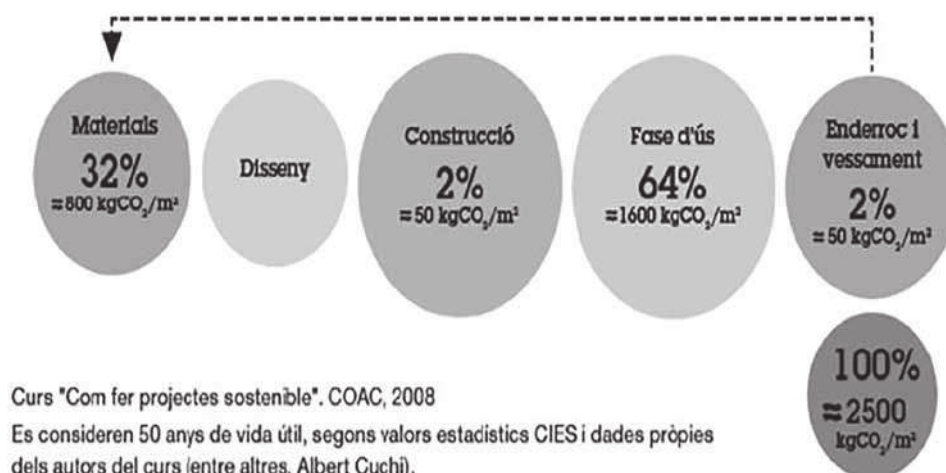


Figura 1. Impacto de emisiones de CO<sub>2</sub> en el ciclo de vida de un edificio residencial,  
 Fuente: Alberto Cuchi.

Con la finalidad de reducir este 64% correspondiente a la fase de uso del edificio se ha priorizado la eficiencia energética de los edificios analizando las causas de su gran coste energético como el correcto funcionamiento de la envolvente o los niveles de eficiencia de sus instalaciones. Numerosos sistemas de certificación, como *Leed*, *Breeam*, *Passive House*, etc., contemplan como una de sus principales prioridades la eficiencia energética del edificio.

El 36% restante se debe a fases de extracción y transformación de la materia prima en productos y/o elementos de construcción y a los costes en las etapas de construcción y derribo. Estas etapas son causantes de la desaparición de recursos no renovables, y de impacto medioambiental por acumulación de residuos.

La fase de construcción y transporte de materiales es responsable entre un 50% y un 60% del total de la energía consumida durante una vida útil del edificio de 50 años, ya que a medida que se reduce el porcentaje de la energía consumida en la fase de uso, crece el porcentaje de transformación de materias primas y de construcción [2]. Así pues, actuando solo en una de las fases de la vida útil del edificio no garantiza que pueda ser considerado respetuoso con el medio.

El porcentaje creciente en la fase de transformación de materias primas y construcción plantea la evolución de, una concepción lineal, como es de la "cradle to grave" a una concepción cíclica, de la "cradle to cradle", considerando los residuos como recursos [3].

La elección de los materiales y elementos utilizados en la construcción y uso de un edificio pocas veces son considerados desde el binomio durabilidad/impacto medioambiental, de hecho una gran parte de la energía incorporada se podría recuperar en gran medida con la reutilización de los elementos constructivos y en menor grado con el reciclaje [4] [5].

En la mayoría de los casos la elección de un material, bajo el punto de vista de impacto ambiental, se hace por la cantidad de energía embebida entendiendo que a menor energía embebida y menores emisiones de CO<sub>2</sub> en su elaboración menor impacto. Los

indicadores de KWh y  $\text{KgCO}_2$  no pueden referirse a unidades de masa o volumen, deben referirse a unidades funcionales puesto que la sección necesaria para “aguantar una determinada carga” –unidad funcional- será distinta según usemos madera o acero.

El diseño constructivo y sus procesos pocas veces consideran la desconstrucción y reutilización de los materiales y elementos ya que se entiende que el proceso de desconstrucción es económicamente más caro que el de demolición [6].

Los sistemas constructivos, pensados desde la estrategia de la desconstrucción, facilitan la reutilización de los materiales y elementos y su mayor amortización energética, reduciendo el impacto medioambiental ya que evitan la extracción de nuevas materias primas y sus costes energéticos y emisiones producidos por la transformación de los mismos en nuevos productos. La comparación de las diferentes potencialidades de reutilización de los sistemas constructivos sería un primer paso para determinar el impacto medioambiental.

Para la recuperación de la energía embebida en los materiales y elementos de construcción, con una clara apuesta por unos ciclos cerrados de los materiales y una edificación más sostenible, son necesarias estrategias de desconstrucción que faciliten el desmontaje y posterior montaje de los elementos constructivos para poder ser reutilizados. Una primera aproximación a la potencialidad de reutilización de los sistemas constructivos es la capacidad de desmontaje que tienen los elementos constructivos y las estrategias utilizadas en el mismo sistema. Es precisamente este concepto el que se pretende ponderar con la finalidad de valorar la capacidad de recuperación de la energía embebida en un edificio, premiando con un coeficiente reductor los indicadores de  $\text{Kwh/m}^2$  y  $\text{Kg CO}_2/\text{m}^2$  del mismo.

Este coeficiente, al que llamamos “Coeficiente de retorno al acopio”, sigue de cerca los conceptos del ACV ya que plantea la capacidad de reutilización de los elementos constructivos y en consecuencia el potencial a ser reutilizados alargando la vida de los mismos, un edificio vacío nunca puede ser sostenible, cuanto más tiempo se use y dure un elemento constructivo, más rentable es la inversión energética destinada en su elaboración.

Desde el punto de vista de la desconstrucción se han considerado los siguientes criterios:

- Se han diferenciado dos sistemas constructivos genéricos; construcción estereotómica, basada principalmente en masonería húmeda, de construcción “in situ”, “el continuum” [7], del que se distinguen separable y no separable; y construcción tectónica, basada principalmente en masonería seca, de construcción de ensamblaje y montaje, “el discontinuum” [7]. De este se desprende lo que entendemos como ‘ortopedia constructiva endógena’, donde el ensamblaje utiliza técnicas que no permite su reversibilidad, como la soldadura y el proceso de reversibilidad deja lesiones en los elementos constructivos, y la ‘ortopedia constructiva exógena’ donde el ensamblaje utiliza técnicas que permiten su reversibilidad, como las uniones atornilladas. El proceso de reversibilidad no deja lesiones en los elementos constructivos.
- Se han establecido cuatro grados de desconstrucción de los elementos constructivos; alto, medio, bajo y nulo.
- Se han considerado tres niveles de recuperación de la energía incorporada en los elementos constructivos; el 30%, el 60% y el 90%.

En la siguiente Tabla 1 se relacionan los parámetros considerados en la desconstrucción, considerando % de recuperación de la energía incorporada, ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub>, reducción de residuos y coste económico según el grado de desconstrucción [8].

Tabla 1. Relación de parámetros cualitativos para la desconstrucción.  
Elaboración propia

Grado de desmontaje	Energía embebida recuperada	CO <sub>2</sub> recuperado	Reducción de residuos	Coste económico	Destino al final de ciclo de vida
Alto	XXX	XXX	XXX	X	Reutilizar
Medio	XX	XX	XX	XX	Refabricar
Bajo	X	X	X	XXX	Infrareciclaje/ Reciclaje
Nulo	-	-	-	-	Vertedero

Los resultados obtenidos facilitan la comparación de edificios distintos ya que consideran el potencial de reutilización de los sistemas constructivos y el ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub> y energía embebida debido a su posible reutilización y reciclaje –Coeficiente de retorno al acopio-.

Considerando así la totalidad del ciclo de vida del edificio y aportando una posible reducción del impacto medioambiental en el ACV del edificio.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo del estudio es determinar un valor numérico en % que aplicado a las emisiones de Kg CO<sub>2</sub> y coste energético en Kwh, generado por la construcción de un edificio, considere el potencial de ahorro, en emisiones de CO<sub>2</sub> y de energía embebida, por reutilización de materiales y elementos constructivos.

## 3. OBJETO ESTUDIADO

Se han estudiado dos edificios de viviendas de protección oficial (Figura 2): edificios ‘Teodoro Llorente’ y ‘Torre Baró’ con las siguientes características (Tabla 2).

Tabla 2. Datos generales de los edificios analizados. Elaboración propia

Datos Generales Edificios	TEODORO LLORENTE	TORRE BARÓ
Superficie total construida	1.548,92 m <sup>2</sup>	4.131,59 m <sup>2</sup>
Superficie total planta	259,94 m <sup>2</sup>	514,48 m <sup>2</sup>
Superficie total fachada	1.245,56 m <sup>2</sup>	2.182,07 m <sup>2</sup>
Nº de plantas sobre rasante	PB+5PP	PB+7PP
Volumen útil total Edificio	3.977,77 m <sup>3</sup>	10.789,34 m <sup>3</sup>
Volumen útil total Viviendas	2.615,29 m <sup>3</sup>	5.542,69 m <sup>3</sup>

### 3.1 EDIFICIO TEODORO LLORENTE

Cimentación superficial de zapatas y riostras; estructura vertical, pilares de hormigón armado; estructura horizontal, forjado reticular. Cubierta plana invertida transitable. Fachadas formadas por paneles de hormigón de 12 cm. de espesor y 2,95 m de altura; aislamiento proyectado de poliuretano de 4 cm de espesor y trasdosado con placas de cartón-yeso. Divisiones interiores entre viviendas formadas por placas de cartón-yeso con doble estructura de 15 cm de espesor y aislamiento interior de lana de roca de 4 cm y plancha metálica de 2 mm.

### 3.2 EDIFICIO TORRE BARÓ

Cimentación profunda realizada con pilotes y encepados; estructura vertical, pilares de hormigón armado; estructura horizontal con losa maciza de 27 cm de canto. Cubierta tipo “Intemper”, plana invertida transitable con “pavimento filtrante sistema “Intemper TF”. Fachadas formadas por paneles prefabricados de hormigón arquitectónico con gruesos entre 8 y 12 cm; aislamiento de poliestireno expandido de 5 cm de grueso y trasdosado con placas de cartón-yeso. Divisiones interiores entre viviendas formadas por placas de cartón-yeso con doble estructura de 15 cm de espesor y aislamiento interior de la de roca de 4 cm y chapa metálica de 4 mm.



Figura 2. Edificios analizados. Teodoro Llorente (izquierda) y Torre Baró (derecha).  
Fuente propia

## 4. METODOLOGÍA

Se han calculado los costes de construcción en Kg CO<sub>2</sub> emitidos y el consumo de energía en KWh, para ello se ha utilizado el Banco de datos BEDEC [9] del ITEC.

Con la finalidad de hacerlos comparables se han repercutido por  $\text{m}^3$  de edificación construida. Se utiliza el  $\text{m}^3$  ya que es mucho más representativo para la utilidad de habitabilidad.

Se calculan también según los volúmenes de utilidad de cada edificio, que repercusiones tiene cada núcleo respecto del total (p. e. como repercute el núcleo de escalera en el total del edificio). Con ello se pretende analizar la repercusión, en  $\text{Kg CO}_2$  y  $\text{Kwh}$ , y como afectan los diferentes sistemas constructivos de los distintos núcleos. Debido a que el objetivo y la utilidad de la construcción del edificio es la habitabilidad, se ha considerado una unidad de servicio de  $\text{m}^3$  útil de vivienda, por lo que obtendremos  $\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$  útil de vivienda.

Por último se calculan los porcentajes de desconstrucción de los diferentes sistemas constructivos que componen el edificio, para ello se han diferenciado dos sistemas constructivos genéricos; construcción estereotómica, basada principalmente en masonería húmeda, de construcción “in situ”, del que se distinguen separable y no separable; y construcción tectónica, basada principalmente en masonería seca, de construcción de ensamblaje y montaje, del que se distingue ortopedia constructiva endógena y ortopedia constructiva exógena.

En base a esta primera clasificación se proponen cuatro grados de desconstrucción de los elementos constructivos; alto, medio, bajo y nulo. Y tres niveles de recuperación de la energía incorporada en los elementos constructivos; el 30%, el 60% y el 90%.

Considerando el monto total de emisiones y energía en cada uno de los grados de desconstrucción, se obtendrá el valor, en porcentaje de recuperación respecto al total, de la energía embebida por su posible reutilización –Coeficiente de retorno al acopio–.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han calculado las emisiones en  $\text{CO}_2$  y consumos en  $\text{Kwh}$  de ambos edificios. Con la finalidad de hacerlos comparables se repercuten en la Tabla 3, por  $\text{m}^3$  útil de Edificio y  $\text{m}^3$  útil de vivienda, donde se observa una mayor repercusión de emisiones  $\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$  útil de vivienda en el edificio de Torre Baró.

Tabla 3. Resumen sobre los consumos de los edificios. Elaboración propia

Consumos Totales	TEODORO LLORENTE		TORRE BARÓ	
Total emisiones $\text{Kg}$ de $\text{CO}_2$	515.420,13		2.435.422,81	
Total energía $\text{Kwh}$	1.413.422,94		5.783.175,19	
Consumos Totales / $\text{m}^3$	$\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$	$\text{KWh} / \text{m}^3$	$\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$	$\text{KWh} / \text{m}^3$
Consumo total / $\text{m}^3$ útil Edificio	129,58	355,33	225,72	536,01
Consumo total / $\text{m}^3$ útil vivienda	197,08	540,45	439,39	1.043,39

Para observar que repercusión en el consumo tienen las dos tipologías se han calculado repercutiendo emisiones de  $\text{CO}_2 / \text{m}^3$  de cada uno de los volúmenes de utilidad. En la Tabla 4 se puede ver que el Edificio de Torre Baró tiene un consumo de casi el doble de  $\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$  respecto al de Teodoro Llorente.



Tabla 4. Consumos totales por volúmenes de utilidad en Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Elaboración propia

CONSUMOS TOTALES POR VOLUMENES DE UTILIDAD EN KG CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>		
VOLUMENES DE UTILIDAD	TEODORO LLORENTE	TORRE BARÓ
Viviendas	120,23 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	217,90 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Zona Común	115,53 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	167,11 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Escalera	90,107 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	185,11 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Instalaciones	74,85 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	137,92 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

Pero, a fin de poder comparar los consumos se calculan según distintas unidades de medida en la Tabla 5:

Tabla 5. Diferentes consumos según distintas unidades de medida. Elaboración propia

COMPARACIÓN CONSUMOS CO <sub>2</sub> POR UNIDADES DE MEDIDA		
CONSUMOS POR UNIDAD	TEODORO LLORENTE	TORRE BARÓ
Kg CO <sub>2</sub> Cimientos/m <sup>2</sup> en planta	211,58 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	1.512,06 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Kg CO <sub>2</sub> Estructura/m <sup>3</sup> útil edificio	47,34Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	85,82 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Kg CO <sub>2</sub> Fachada/m <sup>2</sup> de superficie	66,30 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	111,91 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Kg CO <sub>2</sub> Cubierta/m <sup>2</sup> en planta	122,53 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	213,51 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

Los resultados de la Tabla 5 son debidos a:

- Cimientos: esta diferencia es debida a que en el edificio de Teodoro Llorente la cimentación es superficial y la de Torre Baró es de pilotes, encepados y losas.
- Estructura: la estructura horizontal es distinta; Teodoro Llorente es de forjados reticulares (102,91 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) y la de Torre Baró forjados de losa de hormigón armado (195,61 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). A pesar de que las alturas libres entre plantas sean muy similares en ambos casos, su repercusión por m<sup>3</sup> habitable también es del orden del doble (47,34Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> frente 85,82 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>).
- Fachada: el aislamiento es distinto; Teodoro Llorente es de poliuretano (14,90 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) y el de Torre Baró es de XPS (16,49 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).
- Cubierta: la de Teodoro Llorente es una cubierta invertida transitable con acabado cerámico y consta de un solo patio y la de Torre Baró es una cubierta transitable sistema intemper y consta de 5 lucernarios y 5 patios.

El impacto en emisiones de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil de vivienda de cada edificio queda representado en la Tabla 5:



Tabla 6. Consumos de los distintos núcleos de utilidad en Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil de vivienda. Elaboración propia

CONSUMOS TOTALES POR VOLUMEN ÚTIL DE VIVIENDAS EN KG CO <sub>2</sub> /M <sup>3</sup> útil vivienda		
VOLÚMENES DE UTILIDAD	TEODORO LLORENTE	TORRE BARÓ
Viviendas	138,38 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda	257,73 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda
Zona Común	41,57 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda	54,03 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda
Escalera	9,04 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda	14,78 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda
Instalaciones	8,09 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda	16,18 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> útil vivienda
<b>Total Edificio</b>	<b>197,08 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil vivienda</b>	<b>342,71 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil vivienda</b>

Obsérvese en la Tabla 6 que el edificio de Teodoro Llorente es responsable de la mitad de las emisiones en Kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> útil de vivienda que el edificio de Torre Baró. Pero si consideráramos un ACV del tipo ‘Cradle to Cradle’ del edificio, ¿cuál sería el edificio más “sostenible”?

Para valorarlo, se han calculado las emisiones en Kg de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía en Kwh, que se podrían ahorrar y recuperar como energía embebida en el caso de poder reutilizar los elementos y materiales constructivos después de una desconstrucción.

Se han calculado según la capacidad de desconstrucción de los diferentes sistemas constructivos en caso de reutilización de los materiales y elementos constructivos desmontables y por tanto recuperables. No se han incluido en los cálculos la cimentación, lo que libera los porcentajes de un cierto grado de homogenización haciéndolos más comparativos.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el edificio de Teodoro Llorente tiene un Coeficiente de retorno al acopio de un 19,61% y el edificio de Torre Baró tiene un Coeficiente de retorno al acopio de un 26,77 %.

Aplicando estos coeficientes de retorno a las respectivas repercusiones de Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil vivienda nos daría unas repercusiones con, el edificio de Teodoro Llorente de 176,05 a 141,53 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil de vivienda y en el edificio de Torre Baró de 233,10 a 170,70 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil de vivienda.

## 6. CONCLUSIONES

Los Coeficientes de retorno al acopio (% de recuperación por posible reutilización) de Torre Baró (26,77%) y de Teodoro Llorente (19,61%) han sido calculados según la capacidad de desconstrucción de los sistemas constructivos.

Considerando únicamente la construcción del edificio, la repercusión por m<sup>3</sup> útil de vivienda, y homogenizando los valores debido a diferencias entre los dos edificios como son el núcleo de equipamientos y la repercusión de los cimientos, la propuesta del edificio de Torre Baró (233,1 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) tiene un impacto ambiental mayor que la de Teodoro Llorente (176,05 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>).

Los sistemas constructivos que utilizan tecnologías de ‘ortopedia exógena’ tienen un impacto ambiental unitario mayor que las que utilizan ‘ortopedia endógena’ pero a cambio disponen de un mayor ‘coeficiente de retorno al acopio’, compensando de este modo el impacto ambiental para un Análisis de Ciclo de Vida del tipo ‘Cradle to Cradle’.

Si aplicamos el ‘coeficiente de retorno al acopio’, las diferencias entre las repercusiones de Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> útil de vivienda se reducen. La metodología para el cálculo del ‘coeficiente de retorno al acopio’ ofrece un mapeo sobre aquellos sistemas en los que valdría la pena intervenir haciéndolos más desmontables.

## 7. RECONOCIMIENTOS

Queremos agradecer la implicación y dedicación en el trabajo desarrollado por parte del estudiante David Puig Roger en su proyecto final de grado en Arquitectura Técnica y Edificación, parte del cual se ha integrado en el presente estudio.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Solanas, T., Calatayud, D., Claret, C. (2009) *34 Kg de CO<sub>2</sub>*. (1a ed.) Generalitat de Catalunya.
- [2] Thormark, C. (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly Buildings*. Accedido el 6 de enero, 2016, desde <https://lup.lub.lu.se/search/publication/41592>
- [3] Wadel, G., Avellaneda, J., Cuchí, A. La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. Informes de la Construcción ISSN: 0020-0883, 2010, vol.62. Accedido el 6 de enero, 2016, desde: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- [4] Crowther, P. Design for Disassembly-Themes and principles. *Environment Design Guide*. 2005. Accedido el 6 de enero, 2016, desde: <http://eprints.qut.edu.au/2888/1/Crowther-RAIA-2005.PDF>
- [5] Crowther, Philip. Design for Disassembly to recover embodied energy. 1999. Accedido el 6 de enero, 2016, desde: <http://eprints.qut.edu.au/2846/1/Crowther%2DPLEA1999.PDF>
- [6] Guy i McLendon. Building Deconstruction: Reuse and Recycling of Building Materials. 2000. Accedido el 6 de enero, 2016, desde: <http://www.recyclecddebris.com/rcdd/resources/documents/csgreuserecycling.pdf>
- [7] Aparicio, JM. (2000). *El muro* (1st ed.). Universidad de Palermo. ISBN: 987-97781-8-9
- [8] Puig, D.; (2013). El Cost de les emissions de CO<sub>2</sub> en la construcció del habitatges i la seva ponderació amb el ‘coeficient de retorn al acopi’. (Proyecto Final de Grado). Directores: Caballero, A, Paris. O. Univesidad Politecnica de Catalunya.
- [9] BEDEC ITEC. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Accedido el 6 de enero, 2016, desde: <http://itec.cat/nouBedec.c/bedec.aspx>.